

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS ANIMAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA PEQUENA PROPRIEDADE RURAL

Bruno Henrique Souza Santos – bruno20.santos@hotmail.com

Leonardo Gomes Sampaio Moderno – leo.moderno@hotmail.com

Profª Dra. Silvia M. S. González Velázquez (Orientadora) – silviamaria.velazquez@mackenzie.br

RESUMO

A matriz elétrica brasileira é dependente de recursos hídricos e, na sua falta, da termoeletricidade, o que encarece o preço da energia elétrica. Por essa razão e devido às mudanças climáticas, é necessário buscar alternativas de geração de energia a partir de fontes renováveis. A pecuária brasileira gera grande quantidade de dejetos com alto potencial de poluição dos solos, da água e da atmosfera. A biodigestão desses dejetos com aproveitamento do biogás gerado é uma alternativa para a geração de energia renovável. O presente trabalho realizou uma análise técnica, socioambiental e econômica da implantação de um biodigestor em uma pequena propriedade rural. Foram analisados os métodos de obtenção de biogás e suas propriedades, além dos modelos de biodigestores existentes verificando qual é o mais adequado ao local disponível na propriedade. Em uma visita técnica foram levantados dados referentes à quantidade de animais e dejetos produzidos, além da área para instalação. Com uma produção potencial diária de 4,047 m³ de biogás, seria possível produzir 60,68 kWh mensais ou, com a equivalência energética, 55 kg de GLP, além de 5.385 kg anuais de biofertilizante. Os resultados indicam que o projeto de instalação é rentável do ponto de vista econômico e diminui o impacto ambiental, com a redução da emissão de gases poluentes, principalmente o metano.

Palavras-chave: Dejetos animais. Biodigestor. Biofertilizante. Energia renovável.

ENERGY GENERATION FROM BIOGAS FROM ANIMAL WASTE: A CASE STUDY IN A SMALL RURAL PROPERTY

ABSTRACT

The Brazilian electricity matrix is dependent on water resources and, in its absence, on thermoelectricity, which increases the price of electricity. For this reason and due to climate change, it is necessary to seek alternative energy generation from renewable sources. Brazilian livestock generates a large amount of waste with high potential for soil, water and atmospheric pollution. The biodigestion of these wastes using the generated biogas is an alternative for the generation of renewable energy. The present work carried out a technical, socio-environmental and economic analysis of the implantation of a biodigester in a small rural property. **The methods for obtaining**

biogas and its properties were made available, in addition to the existing biodigester models, verified which is the most suitable for the location available on the property. During a technical visit, data were collected regarding the amount of animals and waste needed in addition to the area for installation. With a daily potential production of 4,047 m³ of biogas, it can be possible to produce 60.68 kWh per month or, with an energy equivalence, 55 kg of LPG, in addition to 5.385 kg per year of biofertilizer. The results indicate that the installation project is profitable from an economic point of view, and the environmental impact is reduced with the reduction of polluting gas emissions, mainly methane.

Keywords: Animal waste. Biodigester. Biofertilizer. Renewable energy.

1 INTRODUÇÃO

Nas áreas rurais do Brasil, o elevado custo da energia elétrica causa impacto na vida dos residentes (ESPERANCINI *et al.*, 2007). O difícil acesso a determinadas áreas, longas distâncias, falta de recursos e manutenção, entre outros, contribuem para a escassez de energia, afetando o cotidiano das famílias e comunidades (DAL BEM *et al.*, 2016).

O Brasil conta com pouco mais de 10 mil empreendimentos geradores de energia elétrica, sendo que metade da eletricidade gerada no país é proveniente de usinas hidrelétricas (ANEEL, 2021). Essa condição se dá principalmente pela abundância de fontes hídricas aliada às políticas adotadas de implantação de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis (MME, 2014). A dependência de recursos hídricos provocou crises de abastecimento no Brasil em 2001 (SROUR, 2005) e em 2014 (MARENGO *et al.*, 2015), evidenciando a fragilidade da matriz elétrica brasileira.

Os custos relacionados à compra de energia são repassados integralmente às tarifas e, conseqüentemente, ao consumidor final. O custo da energia pode sofrer variações significativas, como quando o nível dos reservatórios hidrológicos está baixo e são acionadas as usinas termelétricas (MORAES, 2018).

A pecuária brasileira é uma das atividades com maior influência econômica e socioambiental do país, sendo também uma das atividades responsáveis pelas maiores emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) (ANGELO; RITTLL, 2019). Atividades pecuárias intensivas geram grandes volumes de dejetos devido à alta concentração de animais confinados e utilizam grandes volumes de água na higienização de baias (PASQUALINI, 2020). Os resíduos são usados como adubo orgânico, geralmente de forma inadequada, gerando um grande risco de poluição ambiental, devido à infiltração de nitrogênio no solo, e essa aplicação gera um acréscimo na emissão de dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (NO_x) (EMBRAPA, 2020).

Além da contaminação dos solos e dos recursos hídricos, outro impacto ambiental dos dejetos é a poluição atmosférica, devido à emissão de gases provenientes da decomposição do dejetos animal.

A digestão anaeróbia dos dejetos, geralmente armazenados em esterqueiras, emite metano (CH₄) e amônia (NH₃) (EMBRAPA, 2020). A amônia pode provocar a chuva ácida, assim como problemas respiratórios aos seres humanos (GENOVA; PUCCI; SARUBBI, 2015). O CO₂ é um dos gases que causam o efeito estufa, agravando o aquecimento global e o metano é um gás 21 vezes mais impactante ao meio ambiente que o gás carbônico (LOPES; FILHO; ALVES, 2013).

O tratamento dos dejetos animais a partir de um biodigestor oferece a pequenos e médios proprietários rurais a oportunidade de gerar energia elétrica, reduzir os custos de tratamento dos dejetos, além de dar novo destino aos mesmos, minimizando os impactos ambientais causados pela atividade pecuária, ao mesmo tempo em que gera biofertilizante (DÍAZ-VASQUÉZ *et al.*, 2020).

Tendo em vista este cenário, o presente trabalho tem como objetivo geral apresentar uma análise de viabilidade técnica, econômica e socioambiental da utilização dos dejetos animais para geração de energia a partir do biogás, em uma pequena propriedade rural.

2 METODOLOGIA

Inicialmente, foi analisada, a partir da literatura disponível, a situação da matriz elétrica e da pecuária brasileira, a fim de se obter informações sobre os empreendimentos geradores de eletricidade no país, em especial aqueles provenientes de resíduos animais. Foram estudados os métodos de obtenção de biogás e suas propriedades, assim como as tecnologias dos biodigestores e seus modelos. Além disso, buscou-se na literatura métodos de geração de energia a partir do biogás e os aspectos socioambientais e econômicos envolvidos neste tipo de geração.

Para atingir o objetivo que se propõe, foi realizada uma visita técnica em uma propriedade localizada na Estrada João Rosa de Miranda, S/N, situada no município de Mairiporã-SP. A propriedade é voltada para uso residencial e o proprietário não cria os animais para fins comerciais. Na ocasião da visita ao local de estudo, foi possível levantar os dados a respeito do volume e das características dos dejetos disponíveis, para seleção do biodigestor mais adequado e do local mais apropriado para a instalação. A partir desses dados, foi estimada a produção diária de biogás.

A quantidade de animais foi levada à tabela 1, em que se encontram também a quantidade de dejetos gerados por dia, por animal.

Tabela 1- Levantamento do número de animais e produção diária de dejetos

Animal	Quantidade na propriedade¹	Dejetos por dia/animal (kg)²	Dejetos totais/dia (kg)¹
Aves	29	0,18	5,22

Animal	Quantidade na propriedade¹	Dejetos por dia/animal (kg)²	Dejetos totais/dia (kg)¹
Equinos	3	10,0	30,0
Bovinos	4	10,0	40,0
Suínos	5	2,25	11,25
Total	41		86,47

Fonte: Elaborada pelos autores (2021)¹ e SGANZERLA (1983 apud GASPAR, 2003)²

Na tabela 1 pode-se, então, observar que a propriedade alcança uma produção de, aproximadamente, 87 kg diários de dejetos e, a partir dela, é possível fazer uma análise da produção de biogás e energia elétrica proveniente dos dejetos acumulados. A tabela 2 apresenta o potencial de produção de biogás por tipo de animal.

Tabela 2 - Equivalência em biogás dos dejetos animais

Animal	Produção de biogás (m³/kg)
Ave	0,055
Equino	0,048
Bovino	0,040
Suíno	0,064

Fonte: FARRET (2010 apud JOHANN, 2012)

A partir da tabela 2, considerando o número de animais e a quantidade de dejetos produzidos na propriedade, foi possível calcular a produção diária de biogás. A partir desse resultado foi selecionado o modelo do biodigestor e realizado o seu dimensionamento.

O biodigestor de modelo Canadense foi escolhido pois apresenta tecnologia mais moderna, quando comparado aos modelos chinês e indiano. Este biodigestor é utilizado nas propriedades rurais

por ser constituído majoritariamente de material plástico e possuir construção simples (JUNQUEIRA, 2014). Andrade (2001) destaca que este modelo apresenta baixo custo de implantação, facilidade de transporte, além de que a construção pode ser feita diretamente sobre o terreno, com escavação pouco profunda, e ser de fácil limpeza, descarga e manutenção.

O volume do biodigestor foi estimado por meio da carga diária dos dejetos e do período de retenção hidráulica (TRH), que é o tempo necessário para que ocorra a fermentação. Para o dimensionamento do volume do biodigestor utilizou-se a equação 1 (KUNZ; OLIVEIRA, 2008):

$$VB = VC \times TRH \quad (1)$$

Sendo:

VB = Volume do biodigestor (m³);

VC = Volume de carga diária (solução de dejetos + água) (m³/dia);

TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias).

Para estimar o volume de carga diária, foram utilizados os valores dos dejetos totais da tabela 1, com a relação de água e dejetos de 1:1 (JUNQUEIRA, 2014). Segundo Kunz e Oliveira (2008), o tempo de retenção hidráulica recomendado varia entre 30 e 40 dias e, por segurança, optou-se por utilizar 40 dias.

Para determinar as principais dimensões do biodigestor, foi utilizado o modelo matemático apresentado em Ribeiro (2011), que desenvolveu diferentes tipos de biodigestores, modelo canadense, com fossas trapezoidais, como pode ser visto na figura 1.

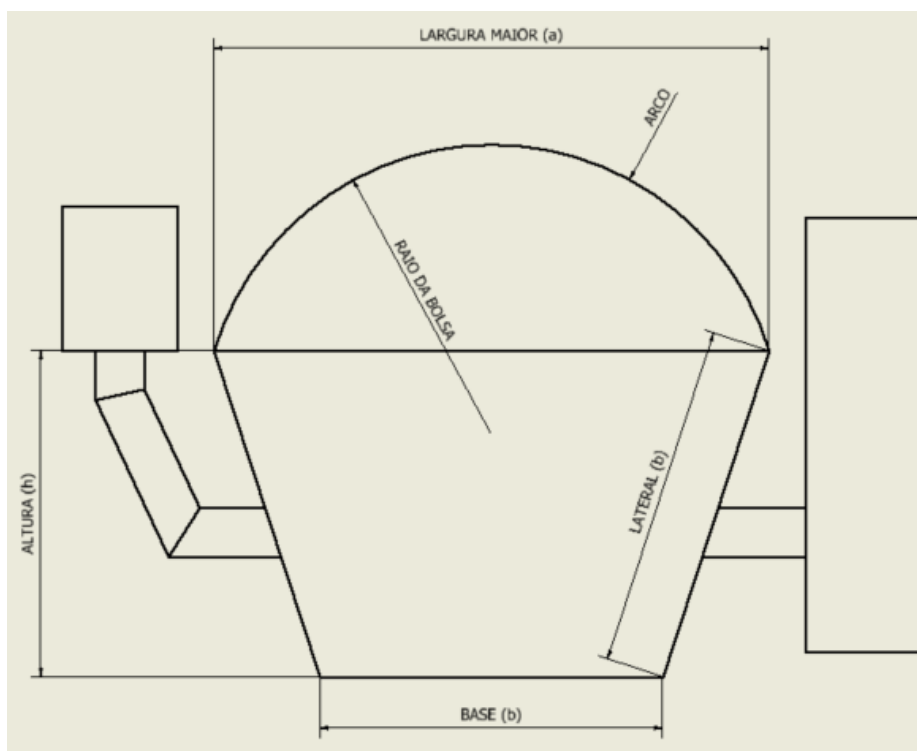


Figura 1 – Seção Transversal do biodigestor modelo canadense com principais parâmetros.

Fonte: Os autores (2021)

Os modelos de Ribeiro (2011) foram testados por meio de regressões utilizando os *softwares* Excel 2007 e AutoCAD 2009. As equações obtidas estão descritas no quadro 1 e as principais dimensões do biodigestor foram apresentadas previamente na figura 1.

Quadro 1 – Equações utilizadas para o dimensionamento do biodigestor.

Equação	Descrição
$P = C = 2.r.\pi$ (2)	P = perímetro total transversal (campana mais fossa) C = circunferência da bolsa r = raio da bolsa plástica
$A\% = 0,621 p^2 - 0,042 p + 0,352$ (3)	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco p = proporção da fase gasosa desejada ($p \leq 0,4$)
$b = ((-1/3).A\% + 1/3).P$ (4)	b = lateral, base ou largura menor da fossa
$a = 1,618.b$ (5)	a = largura maior da fossa
$h = 0,951.b$ (6)	h = profundidade da fossa
$Af = 0,4755.(a+b).b$ (7)	Af = área transversal da fossa
$At = Af / (1-p)$ (8)	At = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana
$Ag = At - Af$ (9)	Ag = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás
$Vt = At.L$ (10)	Vt = volume total do biodigestor (campana mais gás) L = comprimento do biodigestor
$Vf = Af.L$ (11)	Vf = volume total da fossa
$Vg = Ag.L$ (12)	Vg = volume total do gás

Fonte: RIBEIRO (2011)

Para que fosse possível utilizar as equações de Ribeiro (2011), foi necessário selecionar os parâmetros iniciais, comprimento do biodigestor (L), raio da bolsa (r) e a proporção da fase gasosa (p), este último sendo menor ou igual a 0,4, senão, segundo o autor, o volume da fase líquida não será suficiente para manter a campana cheia de gás, levando o biodigestor ao colapso. Os parâmetros foram escolhidos a partir do volume estimado do biodigestor na equação 1, a fim de se adequar à área disponível para a instalação do biodigestor.

As dimensões da caixa de entrada, que vai receber os dejetos animais, devem ter no mínimo o volume de carga diária, enquanto as dimensões da caixa de saída, onde é armazenado o biofertilizante gerado, devem ser estabelecidas para um volume de três vezes o volume de carga diária, para que o biofertilizante possa ser armazenado (JUNQUEIRA, 2014).

Segundo Junqueira (2014), a instalação de um biodigestor modelo canadense é relativamente simples e os materiais necessários para sua construção são: caixa de alvenaria ou fibra para caixa de entrada; manta de geotextil; tubulação de PVC para a entrada de dejetos e saída de biofertilizante; tubulação e conexões para a condução de biogás; caixa de alvenaria ou fibra para o armazenamento do biofertilizante (caixa de saída); válvula de alívio; filtro para biogás e medidor de vazão.

Após o dimensionamento do biodigestor foi selecionado o local para sua instalação, levando em consideração que essa área deve ser preferencialmente plana ou, em alguns casos, deve-se fazer a planificação da superfície, além de ser considerada como região inflamável, não sendo permitido fumar ou acender qualquer tipo de fogo na proximidade. Também deve ser cercada, de forma a evitar a entrada de animais que possam se acidentar e/ou danificar o sistema (SILVA; SÁ, 2019).

A área escolhida para a instalação do biodigestor está localizada próximo ao curral, a fim de facilitar a coleta dos dejetos e posterior geração de energia a partir do biogás. Tal área, que pode ser vista na figura 2, dispõe de dimensões de 5 metros de comprimento por 3 metros de largura, atendendo à área necessária para instalação do biodigestor.

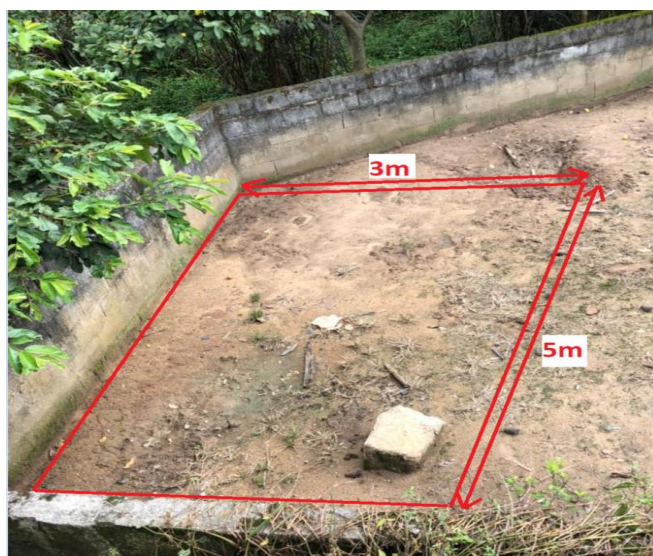


Figura 2 – Local escolhido para instalação do biodigestor.

Fonte: ACERVO PRÓPRIO (2021)

Na seleção do conjunto motor-gerador, foi necessário determinar a potência necessária a partir da demanda elétrica da propriedade. Após esses dados, realizou-se uma conversão, de kW para kVA. O fator de potência está disponível no catálogo do fabricante do motor e utilizando fator como 1,0, chegou-se na potência mínima para a seleção do conjunto motor-gerador.

Para dimensionar o diâmetro da tubulação para o transporte do biogás, foi necessário calcular a densidade do biogás e, pelo fato de, assim como o gás natural o biogás apresentar uma densidade menor que o ar atmosférico (JOHANN, 2012), utilizou-se a equação 13 para o cálculo da densidade.

$$\rho_{biogás} = \frac{\rho_{CH4}}{100} \times \%CH4 + \frac{\rho_{CO2}}{100} \times \%CO2 \quad (13)$$

Sendo:

$\rho_{biogás}$ = densidade do biogás (kg/m³);

ρ_{CH4} = densidade do metano (kg/m³);

ρ_{CO2} = densidade de dióxido de carbono (kg/m^3);

Segundo Deganutti (2002), o biogás tem sua composição de CH_4 e CO_2 variáveis, ficando entre 60 e 80% de metano e 20 a 30% de CO_2 , respectivamente. De acordo com Çengel (2015), a densidade do metano é de $0,716 \text{ kg/m}^3$ enquanto a densidade do CO_2 é de $1,963 \text{ kg/m}^3$ e a densidade do ar atmosférico é de $1,292 \text{ kg/m}^3$, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

Para o cálculo da perda de pressão do sistema, utilizou-se a equação 14, retirada da norma NBR 15526:2012 (ABNT, 2012).

$$\Delta P = 1,318 \times 10^{-2} \times h \times (S - 1) \quad (14)$$

Sendo:

ΔP = variação de pressão (kPa);

h = desnível da tubulação (m);

S = densidade relativa do gás ($\rho_{\text{biogás}}/\rho_{\text{ar}}$).

Por fim, o dimensionamento do diâmetro da tubulação, segundo NBR 15526:2012 (ABNT, 2012), se deu pela equação 15:

$$Q^{0,9} = 2,22 \times 10^{-2} \times \left(\frac{H \times D^{4,8}}{S^{0,8} \times L} \right)^{0,5} \quad (15)$$

Sendo:

D = diâmetro da tubulação (mm);

L = comprimento do trecho da tubulação (m);

Q = vazão volumétrica de metano (Nm^3/h);

H = perda de carga máxima admitida (kPa).

A quantidade de biofertilizante produzido foi calculada a partir da massa seca da massa dos dejetos, sendo assim estimada a massa de biofertilizante disponível após o processo de biodigestão. Para estimar a economia financeira dessa produção, comparou-se o valor de um saco de fertilizante agrícola de 25 kg. Os dejetos bovinos possuem uma massa seca de 16% (SILVA; SÁ, 2019), os dejetos suínos possuem 13% de massa seca (SCHERER, 2011), enquanto o percentual de massa seca dos dejetos equinos é de 20% (SANTOS, 2016) e para aves, o percentual é de 21% (AUGUSTO, 2007).

Para fazer o orçamento inicial do projeto, considerou-se os preços dos materiais necessários para a instalação do biodigestor, além do frete e mão-de-obra. Os valores levantados foram orçados em duas empresas especializadas em venda e instalação de biodigestores, entretanto, pesquisou-se também os valores dos materiais vendidos diretamente no mercado.

Utilizou-se o método do Valor Presente Líquido (VPL) como forma de analisar a viabilidade econômica, que leva em consideração a valorização do dinheiro para estipular a rentabilidade do

projeto, e o *payback*, para estimar o tempo necessário para o retorno do investimento. As equações 16 e 17 mostram como foram realizados os cálculos do VPL e do *payback*, respectivamente.

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC}{(1+i)^n} \quad (16)$$

Sendo:

VPL = valor presente líquido (R\$);

N = período;

FC = Fluxo de Caixa (R\$);

I = taxa de desconto.

$$Payback = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Ganho no período}} \quad (17)$$

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

As fontes renováveis têm um papel importante na matriz elétrica do Brasil. O país possui pouco mais de dez mil empreendimentos geradores de energia, sendo predominantemente de fontes renováveis. Segundo ANEEL (2021), dos 10.250 empreendimentos, 1.516 são provenientes de geração hidráulica, responsáveis por metade da energia elétrica gerada no país.

De acordo com Rangel, Borges e Santos (2016), uma das fontes de energia mais promissoras é o biogás. Entretanto, o país apresenta apenas 15 empreendimentos que geram energia a partir da biomassa de resíduos animais, como pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3 – Usinas de biomassa a partir de Resíduos animais (R.A)

Origem	UF	Tipo	Combustível Final	Qtde	Potência Outorgada (kW)
Biomassa	MT	Resíduos animais	Biogás - RA	2	2.340,00
Biomassa	SC	Resíduos animais	Biogás - RA	3	1.276,00
Biomassa	PR	Resíduos animais	Biogás - RA	6	670,00
Biomassa	MG	Resíduos animais	Biogás - RA	4	455,20
Total				15	4.741,20

Fonte: ANEEL (2021)

3.2 ATIVIDADE PECUÁRIA BRASILEIRA

A atividade pecuária brasileira, que influencia economicamente o país, dispõe do maior rebanho bovino do mundo, com 222 milhões de animais, o que evidencia que a pecuária tem um papel importante tanto no âmbito econômico quanto em questões socioambientais (IBGE, 2020), devido à quantidade de dejetos produzida por tal atividade.

Na pecuária intensiva, o manejo indevido dos dejetos animais tem impacto direto sobre os recursos hídricos, provocando a eutrofização dos corpos d'água, alterando a biodiversidade e promovendo a proliferação de microrganismos prejudiciais ao ser humano e aos animais (ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016).

Além da contaminação dos solos e recursos hídricos, os dejetos animais também contribuem para o agravamento do efeito estufa. No Brasil, verificou-se a emissão de 1,939 bilhão de toneladas brutas de GEEs no ano de 2019. A atividade agropecuária domina a geração de gases de efeito estufa no Brasil, com 492,2 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (ANGELO; RITTL, 2019).

3.3 BIOGÁS

O biogás é um dos produtos da decomposição anaeróbia (decomposição sem a presença de oxigênio) da matéria orgânica, processo que acontece a partir da ação de determinadas espécies de bactérias. O biogás é composto principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) (CETESB, 2020). Há também a presença de gás sulfídrico (H₂S), que é corrosivo e pode atacar componentes metálicos presentes no conjunto motor-gerador (ROSSETTO, 2014), por esta razão, há a necessidade de se instalar de um filtro para eliminar este componente do biogás antes da entrada do motor.

O principal componente do biogás é o metano, representando cerca de 60% a 80% da sua composição, que é um gás incolor, altamente combustível e contribui de forma significativa ao efeito estufa (DEGANUTTI *et al.*, 2002). Demarchi (2009) aponta que três grupos de animais somam mais de 80% das emissões globais do gás metano: os suínos contam com cerca de 40%, o gado de corte com 20% e gado leiteiro com 20%.

Pelo fato de a porcentagem de metano presente no biogás variar, seu poder calorífico também varia, estando entre 20.920 a 29.288 kJ por metro cúbico. Deganutti (2002) afirma que o poder calorífico do biogás pode chegar a 50.208 kJ/m³, uma vez eliminado todo o CO₂ da mistura.

A energia produzida a partir do biogás é uma fonte mais acessíveis e adequadas para a utilização em pequenas propriedades rurais, como fonte de calor para aquecimento e para cocção de alimentos (SILVA, SÁ, 2019).

É possível fazer uma comparação energética entre 1 metro cúbico de biogás com outros combustíveis usuais, chegando à equivalência descrita na tabela 4.

Tabela 4 – Comparativo energético do Biogás.

Combustível	Quantidade equivalente a 1 m ³ de biogás
Litro de gasolina	0,61
Litro de querosene	0,57

Combustível	Quantidade equivalente a 1 m ³ de biogás
Litro de óleo diesel	0,55
kg de GLP	0,45
Litro de álcool combustível	0,79
kg de lenha	1,538
kWh de energia elétrica	1,428

Fonte: DEGANUTTI *et al.* (2002)

3.4 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

A biodigestão anaeróbia é o processo de degradação da biomassa residual, através de reações bioquímicas por diferentes microrganismos que convertem compostos orgânicos complexos em compostos mais simples, sem a presença de oxigênio (BHATT; TAO, 2020).

O processo de biodigestão anaeróbia é uma tecnologia ambiental sustentável e que está sendo vista como uma alternativa no manejo dos dejetos no setor agropecuário devido ao grande volume de dejetos gerados (KOSTANESKI, 2018).

O componente residual do processo de biodigestão anaeróbia é o biofertilizante. Esta biomassa fermentada dentro do biodigestor sob a forma líquida é rica em material orgânico com grande potencial de fertilização. O biofertilizante melhora a estrutura e textura do solo, além de aumentar a porosidade do mesmo, facilitando a penetração de oxigênio e outros nutrientes nas raízes das plantas (GASPAR, 2003).

3.5 TECNOLOGIAS DOS BIODIGESTORES E SEUS MODELOS

Um biodigestor compõe-se, basicamente, de uma câmara fechada na qual uma biomassa é digerida por bactérias sem a presença de oxigênio (digestão anaeróbia). Como resultado desta fermentação ocorrem a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. Existem vários modelos de biodigestores, mas, de forma geral, todos são compostos de duas partes: um recipiente (tanque), para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás (GASPAR, 2003). Os principais modelos de biodigestores são o indiano, chinês e canadense.

O modelo indiano caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo. O modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás (SILVA; SÁ, 2019).

O modelo canadense, também chamado de Modelo da Marinha, tem um padrão horizontal e sua montagem é realizada em uma caixa de carregamento dos dejetos em alvenaria, com largura maior que sua profundidade, que proporciona maior exposição à luz solar, possibilitando uma grande

produção de biogás (SILVA; SÁ, 2019). Possui uma câmara de fermentação subterrânea, uma manta superior de lona plástica para reter o biogás produzido formando uma campânula de armazenamento, além de uma caixa de saída onde o efluente é liberado (SILVA *et al.*, 2012). O biodigestor de modelo canadense pode ser visto na figura 3.



figura 3 – Biodigestor Modelo Canadense.

Fonte: SILVA *et al.* (2012)

3.6 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

A geração de energia elétrica a partir do biogás não depende de condições climáticas, o que não ocorre na energia solar e eólica. A produção de biogás, quando operada de forma correta é relativamente simples e não apresenta riscos aos humanos e ao meio ambiente. O uso de biogás em motores de combustão interna é prática em pequenas usinas geradoras de energia (BAGGIO, 2017).

Oliveira (2004) mostra como é possível a geração de energia elétrica a partir do biogás, partindo de um motor de combustão interna ciclo Otto, adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um gerador de eletricidade. A principal modificação de um motor a gasolina para receber o biogás como combustível é a instalação de um misturador de gás com o comburente no lugar do carburador. Outras mudanças incluem a mudança na taxa de compressão e avanço de ignição. O motor a gasolina, adaptado para receber o biogás tem rendimento aproximado de 35% (ROSSETTO, 2014).

O motor de ciclo Diesel possui a ignição por compressão e uma de suas vantagens é capacidade de operar em altos níveis de compressão, permitindo que combustíveis alternativos como o biogás possam ser utilizados (BAGGIO, 2017). Para que o biogás opere como combustível em um motor Diesel, é necessário colocar pequena quantidade de combustível líquido que funcione como ignição. O rendimento de conversão elétrica no motor Diesel trabalhando com biogás gira em torno de 30 a 35% (PECORA, 2006).

3.7 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS E ECONÔMICOS

Os biodigestores rurais são importantes para o saneamento rural, pois o processo de digestão anaeróbia promove a redução da carga orgânica, redução dos sólidos e a redução de microrganismos patogênicos presentes nos efluentes (ANDRADE, 2001).

Com uma produção diária de 4,20 m³ de biogás, Gaspar (2003) concluiu que a implantação de um biodigestor em uma pequena propriedade rural é viável do ponto de vista socioambiental, uma vez que é capaz de reduzir o valor da conta de energia e dar um destino adequado aos dejetos, além de produzir uma quantidade considerável de biofertilizante, agregando valor ao processo, diminuindo o custeio de insumos da propriedade.

Em contrapartida, Johann (2012) verificou que a utilização do biogás como combustível na produção de energia elétrica em pequenas propriedades rurais é uma simples alternativa para a diminuição dos efeitos nocivos ao meio ambiente, além de agregar algum valor à matriz elétrica brasileira com a utilização de combustíveis renováveis. Entretanto, analisando a parte econômica, pelo fato de a produção do biogás ser pequena e pelo custo dos equipamentos serem elevados, o biogás para geração de energia não é atrativo, fatos que contribuem para que esses sistemas não sejam utilizados em larga escala.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Utilizando os dados das tabelas 1 e 2, é possível calcular a produção diária e mensal de biogás dentro do biodigestor, a fim de verificar o potencial de geração de energia elétrica. O resultado do cálculo da produção de biogás está descrito no Quadro 2.

Quadro 2 – Produção diária de biogás

Animal	Total de dejetos (kg/dia)¹	Produção de biogás (m³/kg)²	Biogás total (m³/dia)¹
	[A]	[B]	[A]x[B]
Aves	5,22	0,055	0,2871
Equinos	30,00	0,048	1,44
Bovinos	40,00	0,040	1,60
Suínos	11,25	0,064	0,72
Total	86,47		4,0471

Fonte: Os autores (2021)¹ FARRET (2010 apud JOHANN, 2012)²

Com a produção diária de 4,0471 m³ de biogás por dia, foi possível chegar a uma produção mensal de 121,413 m³ de biogás. Utilizando os dados de equivalência energética da tabela 4, essa produção mensal equivale a 173,37 kWh e, aproximadamente, a 55 kg de GLP, equivalente a um

pouco mais que 4 botijões. Ao considerar o rendimento de 35% na conversão do biogás em energia elétrica no motor, chega-se em uma produção de 60,68 kWh mensais.

A propriedade possui uma demanda elétrica de 222 kWh mensais evidenciando que a produção de biogás nas condições atuais não é suficiente para supri-la. Desta forma, foi calculada a condição de ponto ótimo, em que a produção mensal de biogás é equivalente à demanda. Nestas condições, seria necessária a aquisição de mais 27 suínos para atender esta demanda, pois o biogás gerado pelos dejetos suínos apresenta o maior poder calorífico entre os animais da propriedade (FARRET, 2010).

4.2 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

A propriedade possui 39 animais, descritos na tabela 1. Sendo assim, o cálculo do volume da carga diária para o dimensionamento do biodigestor está descrito no Quadro 3.

Quadro 3 – Cálculo da carga diária

Animal	Quantidade na propriedade ¹	Total de dejetos (kg/dia) ¹ [A]	Relação dejetos:água ² (kg:L)	Volume de água (m ³) ¹ [B]	Volume de carga (m ³ /dia) ¹ [A]+[B]
Aves	29	5,22	1:1	0,00522	0,01044
Equinos	3	30,00	1:1	0,0300	0,0600
Bovinos	4	40,00	1:1	0,0400	0,0800
Suínos	3	11,25	1:1	0,01125	0,00225
Total	39	86,47		0,08647	0,1729

Fonte: Os autores (2021)¹ JOHANN (2012)²

Após o cálculo da carga diária que alimentará o biodigestor, é possível estimar o volume do biodigestor, utilizando a equação 1. Optou-se por considerar um acréscimo de 10% no volume, levando em conta eventuais variações no volume de carga diária (JOHANN, 2012).

$$VB = VC \times TRH \times 1,1 \quad (1)$$

$$VB = 7,609 \text{ m}^3$$

O volume será usado como base de comparação para o cálculo das dimensões do biodigestor. A princípio, foram definidos os parâmetros iniciais raio da bolsa (r), comprimento do biodigestor (L) e a proporção de fase gasosa (p), com o intuito de otimizar o espaço disponível para a instalação, e o parâmetro (p) foi adotado conforme valor máximo admitido para não colapsar o biodigestor. Os

valores dos parâmetros adotados estão mostrados a seguir: raio da bolsa (r)= 1,0 m; proporção de fase gasosa (p)= 0,4; comprimento do biodigestor (L) = 4,5 m.

Com os parâmetros iniciais definidos, foi possível calcular as demais dimensões do biodigestor, apresentadas no quadro 4 e na figura 4.

Quadro 4 – Resultado do cálculo das dimensões do biodigestor

Parâmetro	Descrição	
P	P = perímetro total transversal (campana mais fossa)	6,283 m
A%	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco	43,45%
b	b = lateral, base ou largura menor da fossa	1,184 m
a	a = largura maior da fossa	1,916 m
H	h = profundidade da fossa	1,125 m
A _f	A _f = área transversal da fossa	1,745 m ²
A _t	A _t = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana	2,908 m ²
A _g	A _g = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás	1,163 m ³
V _t	V _t = volume total do biodigestor (campana mais gás)	13,086 m ³
V _f	V _f = volume total da fossa	7,852 m ³
V _g	V _g = volume total do gás	5,233 m ³

Fonte: Os Autores (2021)

Para dimensionar a caixa de entrada, deve-se considerar que o volume da mesma não pode ser menor que a carga diária (JUNQUEIRA, 2014) de 0,1729 m³, portanto, dimensionou-se a caixa de entrada com um volume de 0,2 m³. A caixa de saída foi dimensionada com o volume de 0,6 m³. O comprimento das caixas de entrada e caixa de saída é de 1,0 m.

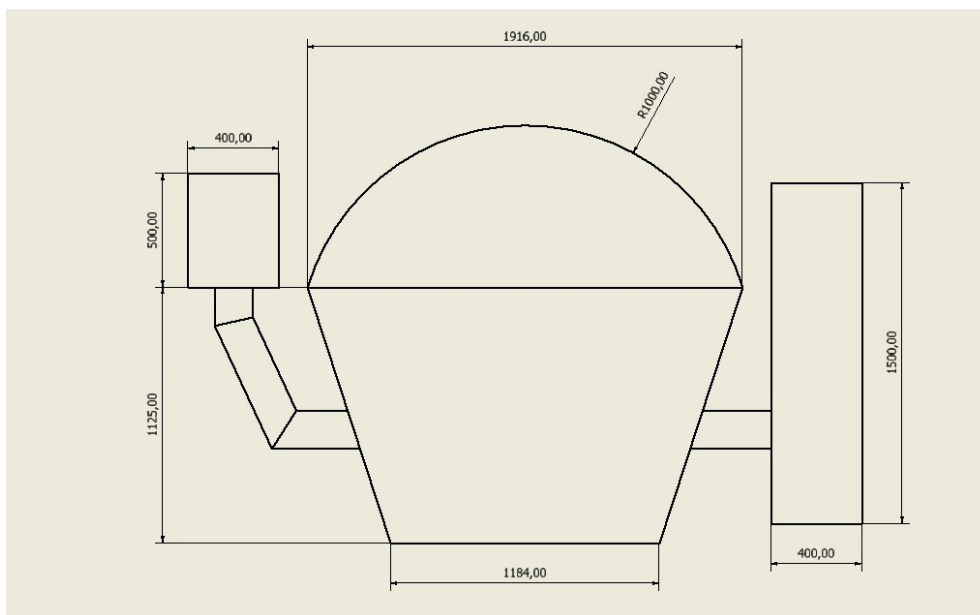


Figura 4 – Principais dimensões do biodigestor

Fonte: Os autores (2021)

4.3 SELEÇÃO DO CONJUNTO MOTOR-GERADOR

A potência requerida para suprir a demanda elétrica, que é de 222 kWh mensais, equivale a 0,308 kW ou 308 W. Utilizando 1,0 como fator de potência para geradores monofásicos (MARATO, 2021), chegou-se a uma potência mínima de 0,308 kVA. Foi selecionado um conjunto motor-gerador modelo MT950 do fabricante MARATO (figura 5), que utiliza gasolina como combustível e foi adaptado para receber o biogás.



Figura 5 – Conjunto motor-gerador

Fonte: MARATO (2021)

4.4 DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO

Para o dimensionamento da tubulação que levará o biogás do gasômetro até o conjunto motor-gerador, foram utilizadas as equações 13 a 15, considerando 80% de CH₄ e 20% de CO₂ na composição do biogás.

$$\rho_{\text{biogás}} = 0,9654 \text{ kg/m}^3$$

A densidade relativa do biogás (S) é de 0,747, calculada pela equação 13. Dessa forma, a variação de pressão do sistema pode ser calculada pela equação 14, considerando o desnível de altura h na propriedade como 7,0 metros.

$$\Delta P = -0,0233 \text{ kPa}$$

Por fim, o dimensionamento do diâmetro da tubulação é expresso a seguir, utilizando a equação 15, com perda de carga admitida em 0,0209 kPa, por meio dos princípios da Mecânica dos Fluidos, e comprimento do trecho da tubulação de 16,05 m:

$$D = 31,38 \text{ mm}$$

4.5 ANÁLISE ECONÔMICA

4.5.1 CUSTOS DE INSTALAÇÃO

No orçamento dos custos iniciais, considerou-se o preço dos materiais necessários para a instalação do biodigestor. Os valores encontrados no quadro 5 foram orçados em duas empresas especializadas em venda e instalação de biodigestores. Por condições comerciais e para o caso de um aumento no número de animais com consequente aumento na produção de biogás, o volume do biodigestor orçado foi de 10 m³, ao invés de 7,852 m³.

Quadro 5 – Orçamento inicial do projeto

Descrição	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Biodigestor 10 m ³	1 un.	5.990,00	5.990,00
Válvula de Alívio	1 un.	79,00	79,00
Manta de Proteção “Bidim”	40 m ²	7,00	280,00
Purificador	1 un.	290,00	290,00
Medidor de vazão	1 un.	360,00	360,00
Balão de armazenamento	1 un.	990,00	990,00
Bomba de biogás 220V 15W	1 un.	395,00	395,00
Fogão para biogás com queimador duplo	1 un.	395,00	395,00
Tubulação (mangueira) para biogás 1 1/4’’ x 8m	2 un.	59,90	119,80
Tubulação para caixa de entrada e saída PVC 150 mm x 3m	2 un.	146,00	292,00
Braçadeira 1/2’’	22 un.	3,79	83,38
Luva de Redução 1/4’’ para 1/2’’	2 un.	9,15	18,30
Espigão 1/2’’	1 un.	11,69	11,69
Válvula globo 1/2’’	3 un.	39,90	119,70
Saco de cimento 5 kg	1 un.	16,99	16,99
Frete e mão de obra	1 un.	2.790,00	2.790,00
Conjunto motor – MARATO MT950	1 un.	750,00	750,00
Total			12.980,86

Fonte: Os autores (2021)

4.5.2 VIABILIDADE FINANCEIRA

Foram analisados dois casos, um considerando a produção de biogás convertido para energia elétrica e outro caso considerando a utilização da queima direta do biogás para cocção. O tempo de análise foi de 5 anos que, segundo o catálogo do fabricante, é a vida útil da manta geotêxtil do biodigestor e deve ser substituída após este período. Considerou-se a Taxa Selic, que em 2021 está em 3,5% a.a. São produzidos na propriedade 5.385 kg de biofertilizante anuais. O preço de um saco de fertilizante agrícola de 25 kg é de R\$ 25,00 no mercado. O ganho anual neste cenário com a utilização do biofertilizante é de R\$ 5.385,00.

Para os cálculos foi utilizado o preço da energia elétrica de R\$ 0,87/kWh (ELEKTRO, 2021), e os custos anuais de manutenção do conjunto motor-gerador estimados de R\$ 200,00. Na utilização do biogás em queima direta para aquecimento ou cocção, utilizou-se a equivalência em GLP. O preço do botijão de 13 kg em Mairiporã, município onde se situa a propriedade, é em média R\$ 85,00 (ULTRAGAZ, 2021).

Desta forma, o VPL (eq.16) calculado utilizando o biogás para geração de eletricidade foi de +R\$ 16.127,42 e o *payback* (eq.17) do projeto é de 2,23 anos. O VPL utilizando a queima direta do biogás na obtenção de energia térmica, foi de +R\$ 32.438,55 e o *payback* do período é de 1,32 anos. O VPL positivo indica a rentabilidade do projeto, no período de 5 anos. Os valores calculados vão de acordo com os resultados obtidos por Esperancini (2007), que obteve economia de R\$ 3.698,00 anuais e um *payback* de 2,5 anos com a instalação de um biodigestor para uso domiciliar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma análise técnica, econômica e socioambiental da instalação de um biodigestor em uma pequena propriedade rural. Foram coletados dados referentes aos animais na propriedade e à quantidade de dejetos produzida diariamente e, conseqüentemente, calculada a produção de biogás e biofertilizante. Por meio da revisão da literatura, foi possível escolher o modelo do biodigestor mais adequado para a propriedade e dimensioná-lo.

De forma geral, pode-se dizer que os objetivos propostos foram alcançados, indicando que a implementação de um biodigestor em uma pequena propriedade rural é uma fonte alternativa de geração de energia elétrica e térmica. Sob a ótica socioambiental, observou-se que a utilização do biogás como combustível é menos prejudicial ao meio ambiente, ao reduzir as emissões de GEEs na atmosfera, além de dar um destino adequado aos dejetos animais.

Do ponto de vista econômico, a análise de viabilidade financeira evidenciou que o projeto é rentável e que o tempo de retorno do investimento inicial é menor ao se utilizar o biogás como fonte de energia térmica, quando comparado com sua utilização para geração de energia elétrica. Pelo fato da quantidade de animais na propriedade ser pequena, não foi possível suprir a demanda elétrica,

sendo necessário que o proprietário adquira mais animais para atingir o ponto ótimo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. A. N. **Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental.** Gestão Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2001. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/030.pdf>. Acesso em: 13 de jan. de 2021.

ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações de Geração da ANEEL - **SIGA: Indicador de empreendimentos.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 12 de mar de 2021.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15526: Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais – Projeto e Execução.** Rio de Janeiro, p. 33. 2012. Acesso em: 03 de mai. de 2021.

ANGELO, C.; RITTL, C. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil.** SEEG: Relatório-Síntese, [s. l.], 2019. Disponível em: http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf. Acesso em 5 de nov. de 2020.

AUGUSTO, K. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, [S. l.], 2007. Disponível em: <http://javalı.fcav.unesp.br/sgcd/Home/download/pgtrabs/zoo/m/3036.pdf>. Acesso em: 4 de mai. 2021.

BAGGIO, P. L. **Estudo das tecnologias existentes para geração de energia elétrica a partir do biogás.** 2017. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9533/1/PB_COELT_2017_2_22.pdf. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

BHATT, A. H.; TAO, L. **Economic perspectives of biogas production via anaerobic digestion.** *Bioengineering.* vol.7. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5354/7/3/74/html>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

CETESB-Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Biogás: Definição.** [S. l.], março 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/>. Acesso em: 28 de out. 2020.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações.** 3. ed. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015. xxiii, 990. p.

DAL BEM, J. C. T *et al.* **Solução para Bombeamento de Água em Propriedades Rurais Utilizando Energia Solar Fotovoltaica.** Revista Brasileira de Energia Solar ano 7, volume VII número 1, p.50-57. 2016.

DEGANUTTI, R.; *et al.* **Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada.** 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/031.pdf> Acesso em: 27 de out. de 2020.

DEMARCHI, J.J.A.A. **Sustentabilidade de propriedades leiteiras através da redução das emissões de gases de efeito estufa.** 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/sustentabilidade/index.htm. Acesso em: 27 de out. de 2020

DÍAZ-VASQUÉZ, D. *et al.* **Evaluation of Biogas Potential From Livestock Manures and Multicriteria Site Selection For Centralized Anareobic Digester Systems: The Case Of Jalisco, México.** Sustainability, vol. 12, no. 9, p. 3527, Apr. 2020. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

EMBRAPA. **Emissões de Gases de Efeito Estufa.** 2020. Embrapa Suínos e Aves. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/gee/gases-de-efeito-estufa>. Acesso em: 27 de out. de 2020.

ESPERANCINI, M. S. T. *et al.* **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo.** Eng. Agríc. [online]. 2007, vol.27, n.1, pp.110-118. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/4998>. Acesso em: 03 de nov. de 2020.

ELEKTRO – Eletricidade e Serviços S.A. **Cidades atendidas.** Disponível em: <http://www.elektro.com.br/a-ELEKTRO/quem-ELEKTROcidades.html>. Acesso em: 04 de mar. de 2021.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo- PR.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós- Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85585>. Acesso em: 10 de nov. de 2020.

GENOVA, J.L.; PUCCI, L.E.; SARUBBI, J. **Estratégias para diminuir o impacto ambiental da suinocultura.** Revista Eletrônica Nutritime, artigo 209, v.12, n. 1, p. 2891-3902, 2015. Disponível em: http://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/ARTIGO290.pdf. Acesso em: 04 nov. 2020

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da produção pecuária.** 2020. Indicadores IBGE. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2020_2tri.pdf. Acesso em: 28 de out. de 2020.

ITO, M.; GUIMARÃES, D.; AMARAL, G. **Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades.** Agroindústria BNDES Setorial, ed. 44, p. 125-156, 2016. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9974/2/BS%2044%20Impactos%20ambientais%20da%20suinocultura_P.pdf. Acesso em: 28 de out. de 2020.

JOHANN, C. V. **Dimensionamento de uma instalação para aproveitamento do biogás existente nas propriedades rurais.** 2012. Monografia – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2012. Disponível em: http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2012/Cristian_Denis_Johann.pdf. Acesso em: 11 de abr. 2021

JUNQUEIRA, S. L. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: Estudo de caso na Fazenda Aterrado.** 2014. TCC (Bacharelado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011533.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2021.

KOSTANESKI, P. C. **Comparação da eficiência de lagoas de estabilização e biodigestores no manejo e tratamento de dejetos em empreendimentos da suinocultura no município de Toledo – PR.** 2018. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/3953>. Acesso em: 21 de nov. 2020

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. **Uso de biodigestores para tratamento de resíduos animais.** Embrapa suínos e aves, [s. l.], 10 jun. 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/444153/1/CUsersPiazzonDocuments17238.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.

LOPES, C. R. M.; FILHO, N. R. A.; ALVES, M. I. R. A. **Impactos ambientais e sociais causados por voláteis emanados por excretos de suínos.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n.17, p. 3356-3565, 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/IMPACTOS%20AMBIENTAI S.PDF>. Acesso em: 04 nov. 2020.

MARATO S.A.- MARATO. **MT950 gerador portátil à gasolina, 700W, 2 tempos, certificado de SONCAP.** [S. l.], 29 mar. 2021. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/mt950-portable-gasoline-generator-700w-2-stroke-with-ce-soncap-certificate-919651501.html>. Acesso em: 29 abr. 2021.

MARENGO, J. A.; *et al.* **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo.** Revista USP, [s. l.], n. 106, p. 31-44, setembro. 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110101/108684>. Acesso em: 23 de nov. de 2020.

MME-Ministério de Minas e Energia. **Políticas de incentivo para fontes geradoras de energia sustentável.** 2014. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 28 de out. de 2020.

MORAES, F. **Impacto econômico das bandeiras tarifárias nos processos tarifários das distribuidoras de energia elétrica.** 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Políticas Públicas e Desenvolvimento) - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, [S. l.], 2018. Disponível em: http://www.mestradoprofissional.gov.br/sites/images/mestrado/turma2/felipe_augusto_cardoso_mor aes.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109 p. (PNMA II). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/443024>. Acesso em: 13 de nov. de 2020.

PASQUALINI, A. A. **Aplicação dos biodigestores na pecuária sustentável.** Revista Faculdade do Saber, v. 5. n. 09, p.598-609. 2020. Disponível em: <https://rfs.emnuvens.com.br/rfs/article/view/89/68>. Acesso em: 27 de out. de 2020.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso.** 2006. Dissertação – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-37947/implantacao-de-uma-unidade-demonstrativa-de-geracao-de-energia-eletrica-a-partir-do-biogas-de-tratamento-do-esgoto-residencial-da-usp---estudo-de-caso>. Acesso em: 30 de nov. de 2020.

RANGEL, M.S.; BORGES, P.B.; SANTOS, I.F.S. **Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, n.3, p.267-277. 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Ivan_Santos9/publication/306335420_Analise_comparativa_d_e_custos_e_tarifas_de_energias_renovaveis_no_Brasil/links/57b8874d08ae14f440bb4aca/Analise-comparativa-de-custos-e-tarifas-de-energias-renovaveis-no-Brasil.pdf. Acesso em: 17 de nov. de 2020.

RIBEIRO, D. S, *et al.* **Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida.** Revista Holos, ano 27, vol. 1. 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549214005.pdf>. Acesso em: 15 de jan. de 2021.

ROSSETO, C. **Desempenho de motor-gerador ciclo Otto operado com gasolina e biogás proveniente de suinocultura e de uma estação de tratamento de esgotos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014. Disponível em: <http://131.255.84.103/bitstream/tede/773/1/DissertacaoCassianoRossetto.pdf>. Acesso em: 13 de mai. de 2021.

SANTOS, M. R. G. dos. **Produção de substratos e fertilizantes orgânicos a partir da compostagem de cama de cavalo.** Seropédica/RJ, 2016. 48f. (Dissertação, Mestrado Profissional em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2016. Disponível em: <http://cursos.ufrj.br/posgraduacao/ppgao/files/2016/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Vers%C3%A3o-Final-Marcelo-2016.pdf>. Acesso em: 31 de mai. 2021.

SCHERER, E.E. **Aproveitamento do esterco de suínos como fertilizante.** EPAGRI, Chapecó-Santa Catarina, 2011. Disponível em: http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/9-EloiScherer.pdf. Acesso em: 31 de mai. 2021.

SILVA, L. N. M.; SÁ, F. L. **Biodigestor em propriedades rurais: uma alternativa para confinamentos bovinos.** 2019. UNIFACVEST, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/4b497-silva,-l.-n.-m.-biodigestor-em-propriedades-rurais-uma-alternativa-para-confinamentos-bovinos.-tcc,-2019..pdf> Acesso em: 10 de out. de 2020.

SILVA, W. T. L. *et al.* **Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola.** Química nova, v.35, São Paulo, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000100007. Acesso em: 17 de out. de 2020.

SROUR, S. **A reforma do estado e a crise no setor de energia elétrica:** uma visão crítica do caso brasileiro. 2005. Dissertação (Mestrado em Administração Pública e de Empresas) - Fundação Getúlio Vargas, [S. L.], 2005. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/3354/Dissertacao_Sandra.pdf. Acesso em: 20 de out. de 2020.

ULTRAGAZ - Companhia Ultragaz S.A. **Preço do gás em Mairiporã.** Disponível em: <https://www.telefoneultragaz.com.br/preco-do-gas/mairipora> Acesso em: 1 de jun. de 2021.